

Un catálogo exhaustivo de formas del relieve glaciar en los fondos marinos de la Tierra

MIQUEL CANALS

GRC Geociències Marines, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, c/ Martí i Franquès, s/n, Campus de Pedralbes, 08028 Barcelona e-mail: miquelcanals@ub.edu

La capacidad del hielo para esculpir el relieve de la Tierra a escalas muy diversas es bien conocida, y ha atraído desde muy antiguo la atención de los estudiosos. El relieve o paisaje glaciar es propio sobre todo de los sistemas montañosos de gran altitud y también de las latitudes altas, polares y subpolares (Fig. 1). Ese papel de modelador del paisaje por parte del hielo ha experimentado oscilaciones muy notables, relacionadas directamente con las fluctuaciones del clima a lo largo de la historia de la Tierra, y del Cuaternario en particular. Así, durante los periodos glaciales el volumen y la extensión del hielo en la Tierra alcanzan su máxima expresión, mientras que durante los interglaciales, como el presente, éstos se reducen muy significativamente. Se trata, por tanto, de un mecanismo de expansión y de contracción (del hielo) que se ha ido repitiendo como si de un latido inconmensurable de la Tierra se tratase, generalmente a un ritmo de decenas a centenares de miles de años.

En tierra firme son muy abundantes y diversas las formas del relieve glaciar que han quedado expuestas después de la última desglaciación, iniciada hace unos 21.000 años. Se

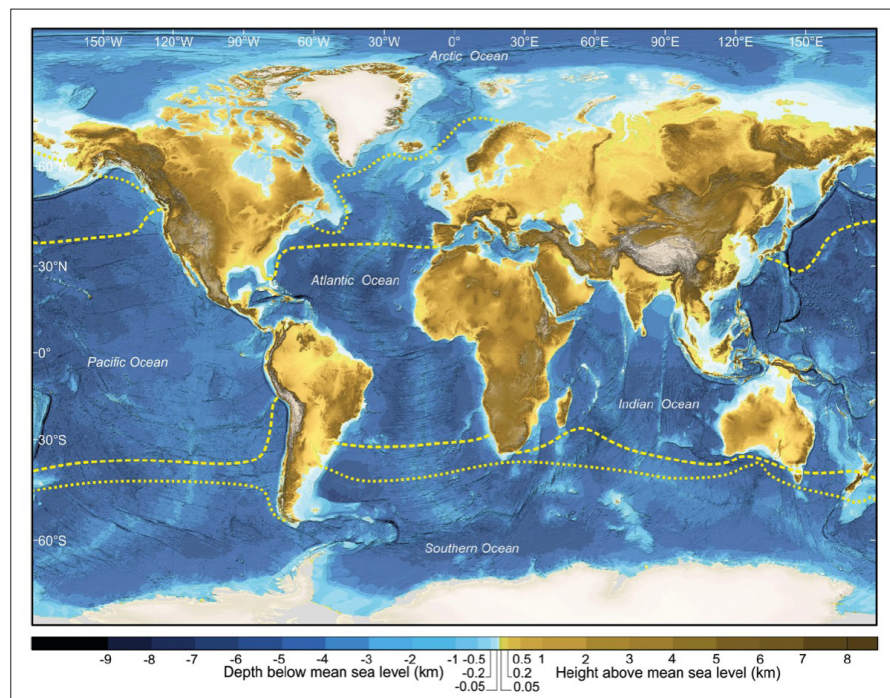


Fig. 1. Distribución global de los márgenes continentales influenciados por la actividad glaciar, o ambientes glaciomarineros. Se indican los límites aproximados del "almadaje" de hielo (en inglés "ice-rafting") y del arado glaciar del lecho marino en la actualidad (línea de puntos amarilla) y durante los máximos glaciares del Cuaternario (línea de guiones amarilla) (de Dowdeswell et al., 2016b, modificado de Anderson, 1983). GEBCO World Map, proyección Gall. Se recomienda consultar la versión digital.

trata de formas glaciares de escala grande, intermedia y pequeña, como valles y circos glaciares, morrenas y *drumlins*, o estrías glaciares, entre muchas otras. Dichas formas del relieve están sometidas a la acción de los agentes meteorológicos y de los procesos geológicos externos, que las modifican en mayor o menor medida, lo que a la larga tiende a dificultar su preservación y reconocimiento. De hecho, el escaso tiempo transcurrido desde la última glaciación, considerando la escala de los tiempos geológicos, es un factor clave para que ese paisaje glaciar en tierra

firme, herencia de unas condiciones climáticas muy distintas de las actuales, haya llegado hasta nuestros días en latitudes relativamente bajas.

En el mar, la transición de un periodo glacial frío a un periodo interglacial cálido viene marcada por un ascenso global del nivel de las aguas. En los mares polares dichas transiciones climáticas conllevan la retirada de las masas de hielo en dirección al continente, así como su adelgazamiento y "desanclaje" del lecho marino. Se trata de un conjunto de procesos que se retroalimentan entre sí y con el calentamiento global asociado,

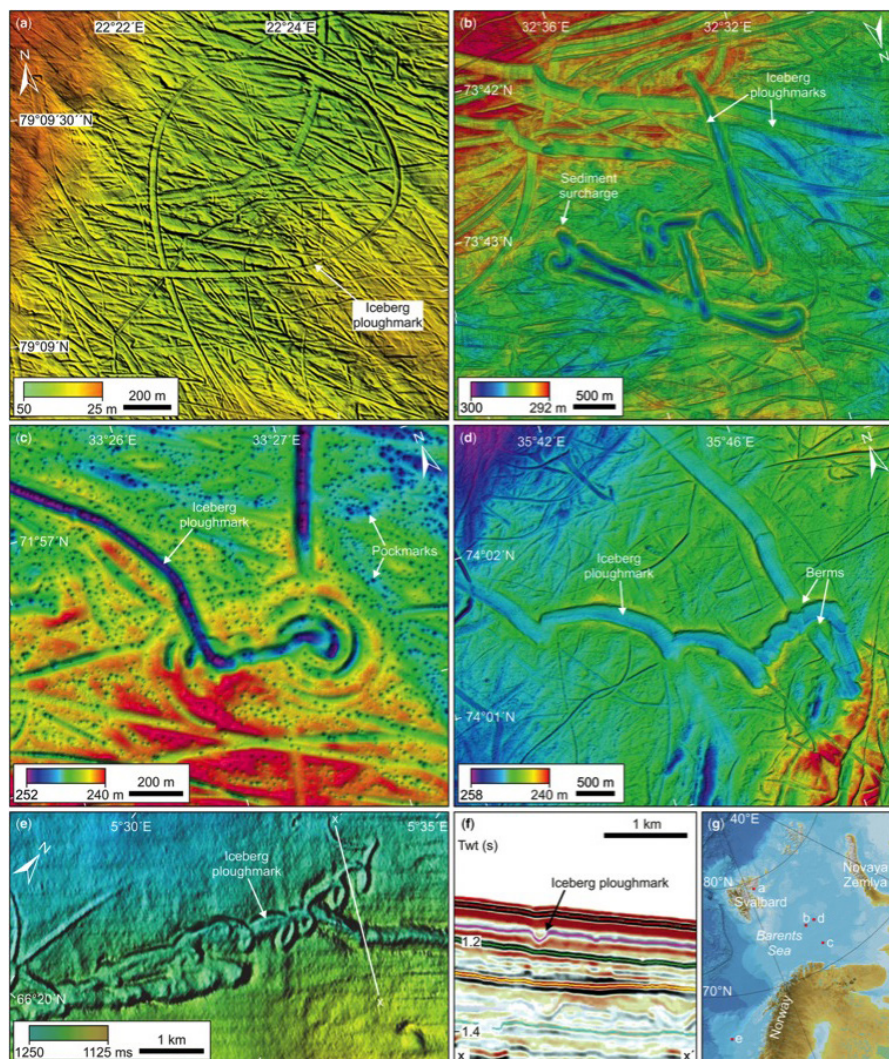


Fig. 2. Catálogo de marcas de arado de icebergs en la plataforma continental y el talud continental superior de Noruega (situados en (g)). (a) Marca de arado de iceberg casi circular, aguas afuera de Bravellbreen, Austfonna, Svalbard. (b) Formas peculiares de marcas de arado de icebergs en el Mar de Barents central. (c) Marcas de arado de icebergs indicadoras de rotación, en el Mar de Barents central. Las numerosas depresiones circulares son "pockmarks" formados probablemente por escape de fluidos. (d) Marcas de arado de icebergs producidas por icebergs poco comunes de base plana, Mar de Barents central. (e) Marca de arado producida por la deriva en forma de sacacorchos de un iceberg, enterrada bajo el lecho marino en el talud continental de Noruega, a una profundidad de agua actual de 800 m. (f) Perfil de sísmica de reflexión a través de la marca de arado de (e), mostrando que se halla enterrada bajo unos 30 m de sedimento. Exageración vertical $\times 6$. (g) Situación de las imágenes (mapa de IBCAO v. 3.0). Datos de batimetría de multihaz con mallas de 5 m (a-d). Sísmica 3D con malla de 50 m (e-f) (de Bjarnadóttir et al., 2016)

del que son consecuencia pero al que también contribuyen. Por ejemplo, la reducción de la superficie helada hace disminuir el albedo terrestre y, por tanto, favorece el calentamiento.

Todo ello tiene como consecuencia que las plataformas continentales polares (y a veces también las subpolares) que durante las glaciaciones soportaban enormes volúmenes de hielo anclado, es decir cuyo sustrato era el lecho de la plataforma continental, vayan siendo inundadas progresivamente por unas aguas marinas en ascenso continuado, empezando por

la plataforma externa y culminando en la plataforma interna. La transgresión marina inherente a la regresión glacial va descubriendo progresivamente las formas del relieve glacial, que van quedando expuestas en el fondo marino. La sedimentación marina subsiguiente, si la hay, puede atenuar en mayor o menor medida la expresión morfológica de dichas formas del relieve, mientras que la ausencia de sedimentación hace que las mismas puedan llegar intactas y en todo su esplendor original hasta nuestros días.

Llegados a este punto, conviene tener presente que las plataformas continentales polares son mucho más profundas que las de latitudes medias y bajas, debido a la sobrecarga de hielo que las hunde por efecto isostático y también a la sobreexcavación por el hielo, sobretudo en la plataforma interna. Así, mientras el borde de la plataforma en torno a la Península Ibérica se sitúa generalmente en torno a los 120 - 140 m de profundidad, en la Península Antártica está a más de 1000 m de profundidad en numerosos lugares (Canals et al., 2000, 2002). Además, también son comunes las depresiones de más de 1000 m de profundidad en las plataformas internas polares. De hecho, la mayoría de plataformas polares están inclinadas hacia la costa.

Otro aspecto altamente relevante es que los procesos glaciares siguen aún activos en las actuales regiones polares, a pesar del calentamiento global y del menor volumen de hielo que hay en la Tierra respecto a los periodos glaciales. Por tanto, el actual lecho marino constituye un catálogo excepcional de formas del relieve glacial que abarca, como mínimo, las dos últimas decenas de miles de años, desde la plataforma continental externa, donde predominan las formas más antiguas, hasta los frentes de hielo actuales, donde se hallan las que se están formando en nuestros días. El propio borde de plataforma en las regiones polares representa muy a menudo el límite externo de la línea de anclaje de los hielos que estaban posados (o anclados) sobre el fondo durante los máximos glaciales, con espesores que ahora mismo nos pueden parecer increíbles, de 1000 m e incluso más. Donde antes hubo ese hielo ahora solo hay agua marina. El único testigo de esos enormes espesores de hielo del pasado son las formas del relieve glacial que tapizan las plataformas continentales de las regiones polares, y que son fruto de la erosión y el transporte glaciares, y de la acumulación subglacial. Algunas de estas formas, como las marcas de arado de icebergs, son exclusivas de los ambientes glaciomarineros y glaciolacustres (Fig. 2).

Tampoco debería olvidarse la capacidad de generar formas del relieve

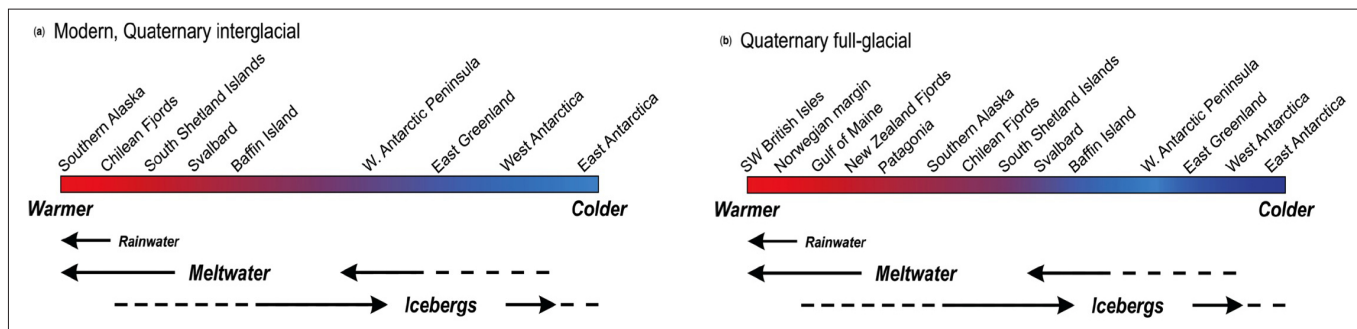


Fig. 3. Continuo climático de los ambientes marinos influenciados por la actividad glaciar en (a) la Tierra moderna, o interglacial en el Cuaternario y en (b) condiciones plenamente glaciales en el Cuaternario. Los mantos de hielo de las latitudes medias se expanden hasta alcanzar el mar cerca del Ecuador durante los máximos glaciales (de Dowdeswell et al., 2016b, modificado de Dowdeswell y Vásquez, 2013).

específicas por parte de las aguas a sobrepresión que circulan por el interior de los glaciares anclados en el lecho marino y en el contacto hielo-sustrato, o por la fusión del sustrato helado subsiguiente al “desanclaje” y retirada de los hielos y al restablecimiento de la circulación oceánica. Se han formado así sistemas de canales excavados en el sustrato y depresiones (*kettle holes*) por la fusión de bloques de hielo enterrados en el sustrato o del propio sustrato helado. Se trataría de algo parecido a la fusión de un permafrost submarino. Por otra parte, los efectos de la acción del hielo en las cuencas de drenaje glaciar y en la plataforma continental alcanzan mucho más allá del borde de plataforma, extendiéndose hacia el talud y el glacis continentales, y hacia las cuencas profundas, donde la excavación de cárcavas y cañones submarinos, y el desarrollo de cuerpos sedimentarios glaciomarinos dependen directamente del paso de flujos densos de

origen glaciar y del acarreo de sedimento, sobretudo por efecto bulldócer en la base de los glaciares.

Todo lo contado hasta aquí, y mucho más, está recogido y profusamente ilustrado en color en el *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient*, publicado en Diciembre de 2016 por *The Geological Society of London* (Dowdeswell et al., 2016a). El Atlas, de 618 páginas, incluye más de 180 contribuciones a cargo de expertos de una veintena de países. Dichas contribuciones pertenecen a tres categorías distintas: formas del relieve individuales, asociaciones de formas del relieve y sistemas glaciares completos, las cuales constan, respectivamente, de dos, cuatro y ocho páginas, siendo la mitad de texto y la otra mitad de figuras. Por otra parte, el conjunto de contribuciones está organizado de acuerdo con el continuo “fiordo – plataforma continental – talud continental” para cada una de las categorías anteriores.

Completan el Atlas una introducción general, un capítulo específico sobre métodos de cartografía submarina, unas conclusiones sobre el conjunto de la obra, un glosario muy completo, una bibliografía acumulada y un índice geográfico. En el Atlas se considera el espectro completo de condiciones glaciares en la actualidad, desde las menos extremas, representadas por el sur de Alaska y los fiordos chilenos, hasta las más extremas, representadas por la Antártida oriental. Asimismo, se considera también el espectro de condiciones glaciares existentes durante las glaciaciones cuaternarias, representadas en este caso por las Islas Británicas y el margen de Noruega, como menos extremas, y por la Antártida, como más extremas (Fig. 3).

A través del enlace <http://memorycollection.org/content/46/1.toc> se pueden descargar libremente diversos capítulos e imágenes del Atlas. También hay información en la página web de *The Geological Society of London*: <http://www.geolsoc.org.uk/M0046#>. ●

Referencias

- Anderson, J.B. (1983). Ancient glacial-marine deposits: their spatial and temporal distribution. En: Molnia, B.F. (ed.): *Glacial-Marine Sediments*, Plenum, Nueva York, p. 3–92.
- Bjarnadóttir, L.R., Ottesen, D., Dowdeswell, J.A. y Bugge, T. (2016). Unusual iceberg ploughmarks on the Norwegian continental shelf. En: J.A. Dowdeswell, M. Canals, M. Jakobsson, B.J. Todd, E.K. Dowdeswell y K.A. Hogan (eds.): *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient*, Geological Society, London, Memoirs, 46, Bath, Reino Unido, p. 283–284.
- Canals, M., Urgeles, R. y Calafat, A.M. (2000). Deep sea-floor evidence of past ice streams off the Antarctic Peninsula. *Geology*, 28 (1), 31–34.
- Canals, M., Casamor, J.L., Urgeles, R., Calafat, A.M., Domack, E. W., Baraza, J., Farran, M. y De Batist, M. (2002). Seafloor evidence of a subglacial sedimentary system off the northern Antarctic Peninsula. *Geology*, 30 (7), 603–606.
- Dowdeswell, J.A., Canals, M., Jakobsson, M., Todd, B.J., Dowdeswell, E.K. y Hogan, K.A. (2016a). Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient. *Geological Society, London, Memoirs*, 46, Bath, Reino Unido, 618 p.
- Dowdeswell, J.A., Canals, M., Jakobsson, M., Todd, B.J., Dowdeswell, E.K. y Hogan, K.A. (2016b). Introduction: an Atlas of Submarine Glacial Landforms. En J.A. Dowdeswell, M. Canals, M. Jakobsson, B.J. Todd, E.K. Dowdeswell y K.A. Hogan (eds.): *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient*. *Geological Society, London, Memoirs*, 46, Bath, Reino Unido, p. 3–14.
- Dowdeswell, J.A. y Vásquez, M. (2013). Submarine landforms in the fjords of southern Chile: implications for glaciomarine processes and sedimentation in a mild glacier-influenced environment. *Quaternary Science Reviews*, 64, 1–19.